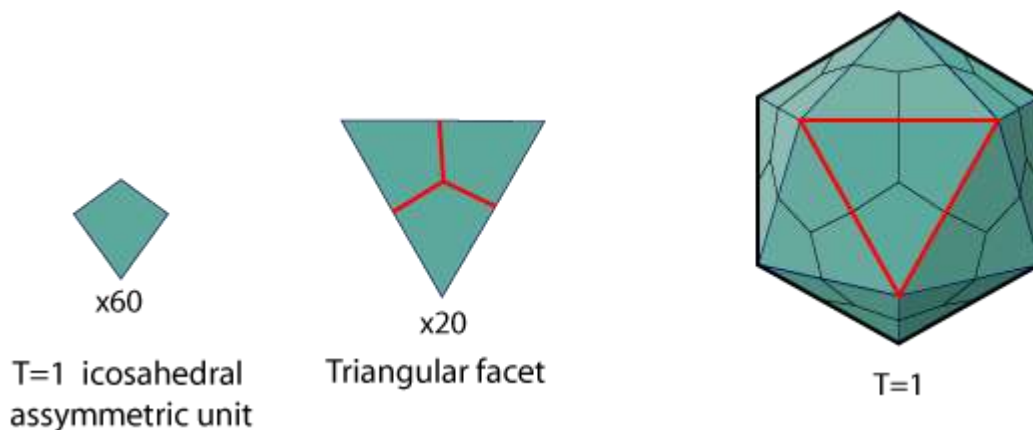


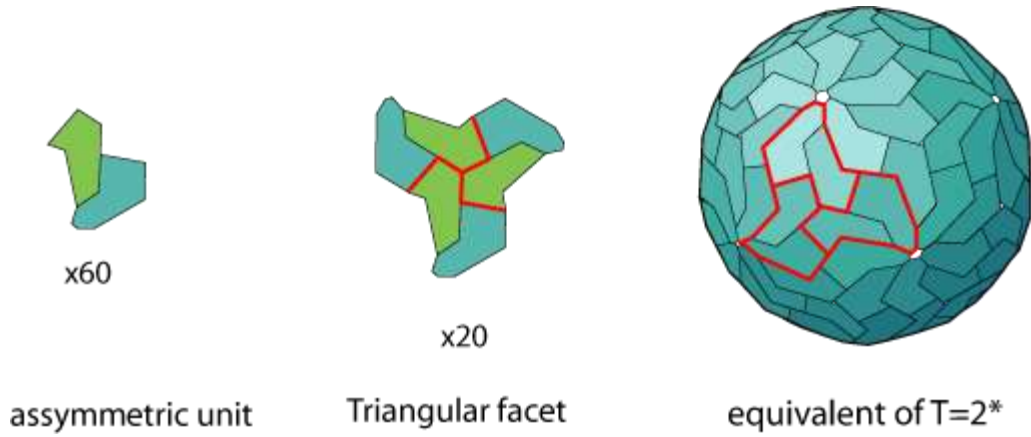
به کمک میکروسکوپ الکترونی و تکنیکهای انکسار اشعه ایکس می توان مورفولوژی ویروسها را بطور دقیق مورد بررسی قرار داد. نوع تقارن ویروس و بویژه ساختمان سطحی آن را می توان به کمک میکروسکوپ الکترونی و با استفاده از رنگ فلزات سنگین مشخص کرد. در این حالت فلزات سنگین به داخل ذره ویروس نفوذ کرده و موجب نمایان شدن ساختمان سطحی ویروس در اثر خاصیت رنگ آمیزی منفی می شوند. انواع مختلف تقارن ذرات ویروس به علت صرفه جویی ژنتیکی، ضروری است که ساختمان ویروس از مولکولهای مشابهی از یک یا چند نوع پروتئین ساخته شوند. ویروسها بر اساس ترتیب واحدهای مورفولوژیک به سه گروه می توان تقسیم کرد: تقارن مکعبی، تقارن مارپیچی و ساختمان پیچیده. تقارن مکعبی از نوع ۲۰ وجهی (Icosahedral) می باشد که بیشترین کارایی را در ترتیب واحدهای ساختمانی در یک پوسته بسته فراهم می کند. بر روی سطح یک ۲۰ وجهی دقیقا ۶۰ واحد مشابه وجود دارد. وجود مثلثهای کوچک در سطوح مختلف یک ۲۰ وجهی موجب می شود که با رعایت اصول تقارن، تعداد بیشتری از واحدهای ساختمانی در تشکیل ساختمان کپسید شرکت کنند. اغلب ویروسهایی که دارای تقارن ۲۰ وجهی هستند، به شکل ۲۰ وجهی نبوده و ظاهر اغلب آنها کروی است. در این تقارن کپسومرها به صورت مثلث متساوی الاضلاع قرار می گیرند. این تقارن بهترین فرم پایداری کپسید ویروس از لحاظ هندسی است. تقارن مکعبی از ۲۰ وجهه تشکیل شده از یک مثلث متساوی الاضلاع و ۱۲ راس است. از آنجایی که ۲۰ وجهی یک شکل متقارن می باشد، دارای محور تقارن چرخشی است. نکتهی مهم اینکه در تقارن مکعبی امکان تشکیل کپسید توخالی وجود دارد. کپسیدهای بیست وجهی متقارن ظاهری کروی از ویروسها را در بزرگ نمایی کم نشان می دهند. این کپسیدها از کپسومرهای آرایش یافته در یک الگوی هندسی منظم تشکیل شده اند که مانند توپ فوتبال هستند با این که آنها دقیقا کروی نیستند.

کپسومرها ساختارهای حلقه مانندی هستند که از ۵ یا ۶ کپی از پروتومرها ساخته شده اند. این ساختارها از طریق پیوندهای غیر کووالانسی، اسید نوکلئیک هسته را احاطه می کنند. تعداد پروتئینهای لازم برای تشکیل کپسید ویروسهای کروی با عبارت عدد T نمایش داده می شود که براساس فرمول $T \times 60$ تعداد پروتئینها بدست می آید. در مورد ویروس هیپاتیت B عدد T برابر با ۴ است، بنابراین پروتئینهای لازم برای تشکیل کپسید آن برابر با ۲۴۰ می شود. کپسیدهای ویروس از زیرواحدهای پروتئین ویروسی تشکیل می شوند. در $T=1$ ، یک واحد ساختاری متشکل از ۳ زیرواحد، تقارن ۲۰ وجهی را تشکیل می دهد.

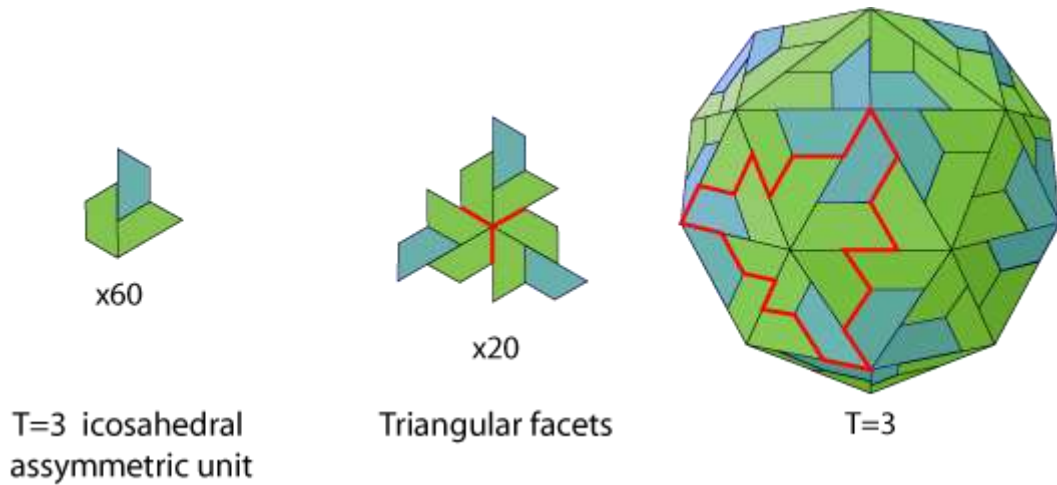
تقارن مکعبی در هر دو گروه ویروسهای دارای DNA یا RNA مشاهده می شود.



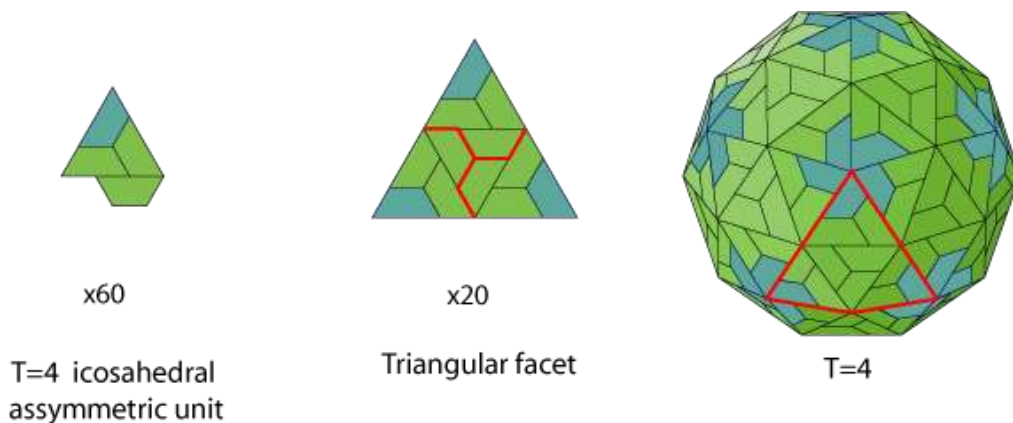
در $T=1$ کپسید از ۶۰ واحد یک پروتئینی تشکیل شده است که در مجموع از ۶۰ پروتئین کپسید ساخته می شود.



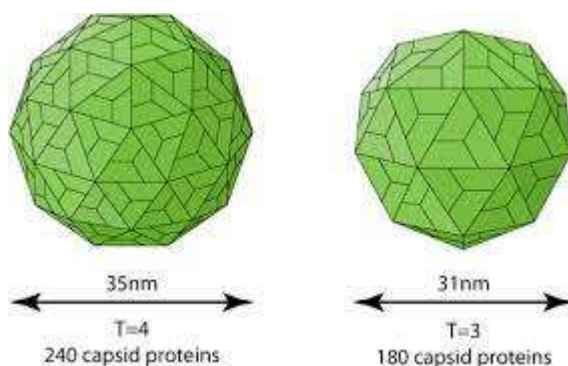
در $T=2$ کپسید از ۶۰ واحد دو پروتئینی تشکیل شده است که در مجموع از ۱۲۰ پروتئین کپسید ساخته می شود.



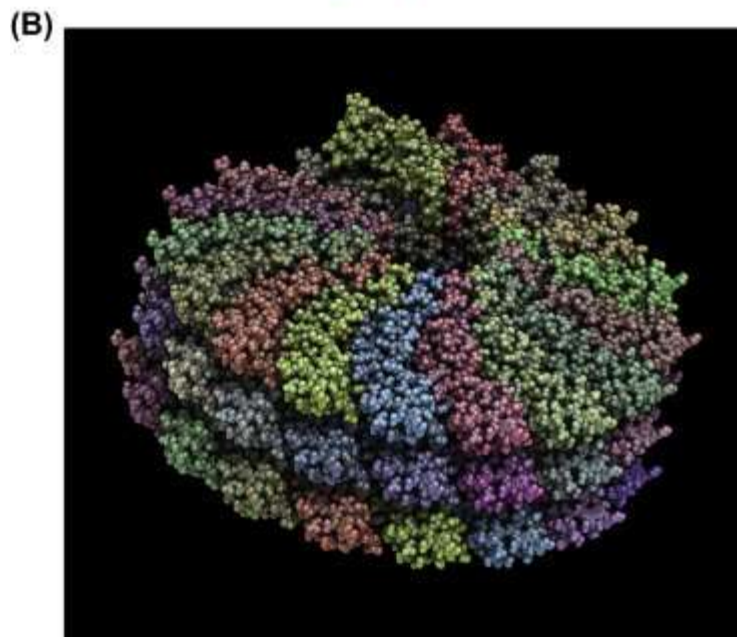
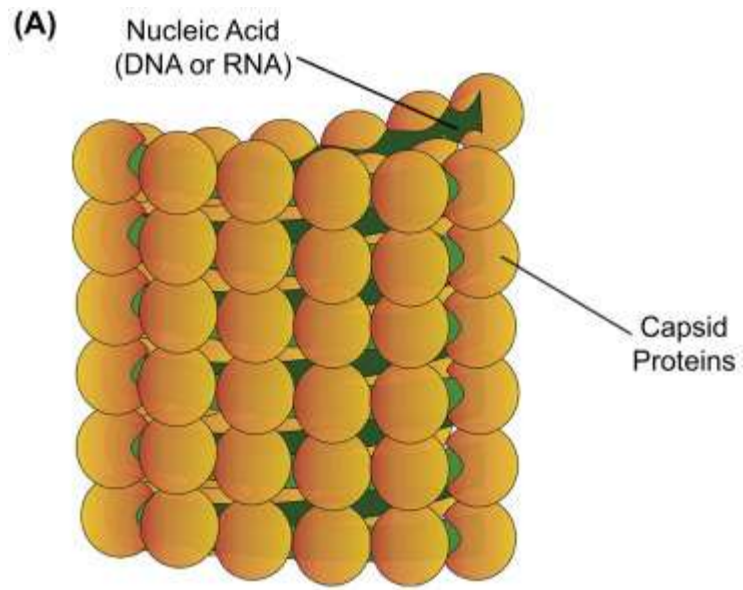
در $T=3$ کپسید از ۶۰ واحد سه پروتئینی تشکیل شده است که در مجموع از ۱۸۰ پروتئین کپسید ساخته می شود.



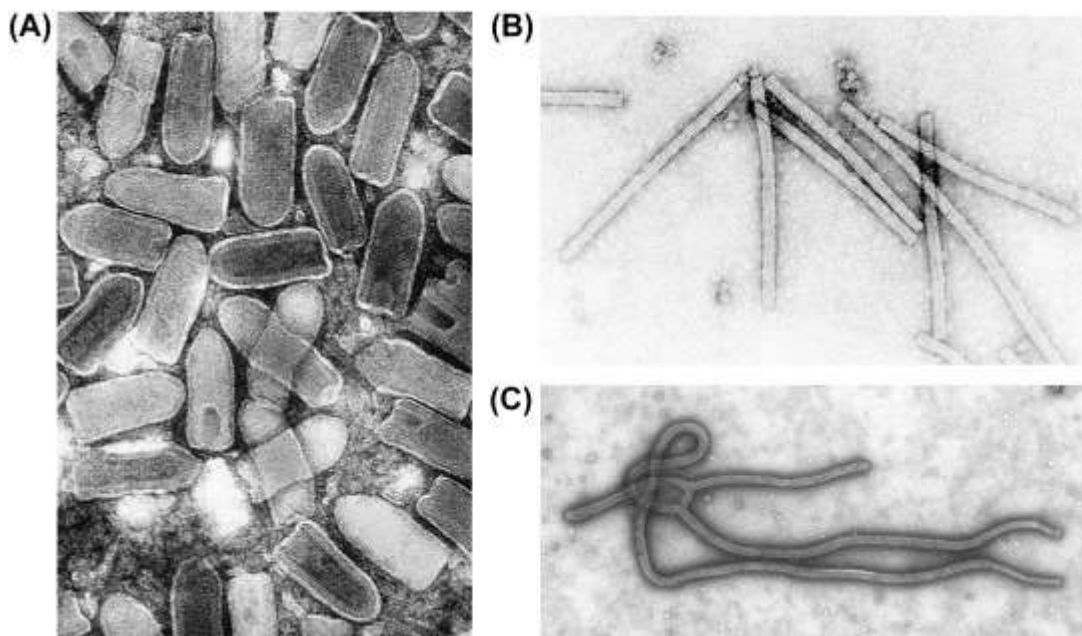
در T=4 کپسید از ۶۰ واحد چهار پروتئینی تشکیل شده است که در مجموع از ۲۴۰ پروتئین کپسید ساخته می شود.



در تقارن مارپیچی (Helical)، واحدهای پروتئینی به صورت مارپیچ در اطراف اسید نوکلئیک ویروس قرار گرفته و بطور منظم به آن اتصال می یابند. کپسومرها در این نوع تقارن به شکل مارپیچ گرد هم می آیند. در این تقارن تک تک واحدهای کپسید در ارتباط با نوکلئیک اسید هستند و آن را حول محوری می چرخانند و تقارنی مارپیچی ایجاد می شود. مثل ویروس موزاییک توتون. در این حال نمی توان کپسومرها را به راحتی از نوکلئیک اسید جدا کرد و احتمال تشکیل کپسید تو خالی وجود ندارد. در این تقارن، طول مارپیچ تحت کنترل نوکلئیک اسید است.



ساختار تقارن مارپیچی کپسید



ویروس‌های با ساختار ماریچی

روش پرتو ایکس، نخستین بار برای مطالعه ویروس موزائیک توتون بکار رفته است. اسید نوکلئیک این ویروس RNA ماریچی است و از ۶۰۰۰ نوکلئوتید تشکیل شده است. کپسومرها طوری بر سطح RNA مستقر شده‌اند که به ویروس شکل کلی میله‌ای محکم به طول ۳۰۰ نانومتر می‌دهند. اندازه ویروس بوسیله RNA مشخص می‌شود. ویروسهای آنفلوآنزا و اوربون نمونه‌هایی از ویروسهای جانوری با تقارن ماریچی هستند. این ویروسها بر خلاف ویروس موزائیک توتون (TMV) قابلیت انعطاف دارند. تفاوت دیگر این ویروسها با سایر ویروسهای دارای تقارن ماریچی در این است که ساختار ماریچی در ویروسهای جانوری توسط غلافی پوشیده است که بر سطح آن زواید خارمانندی دیده می‌شود. تقارن پیچیده عده‌ای از ویروسها ساختمان بسیار پیچیده‌ای دارند، مانند ویروسهای باکتریایی (باکتریوفاژ). ویروسهای گروه آبله که فاقد کپسید مشخصی بوده، ولی غلاف متعددی در اطراف اسید نوکلئیک دارا می‌باشند و برخی از باکتریوفاژها که فاقد کپسید و ساختارهای اضافی متصل به آن می‌باشند، دو مثال از این نوع ویروسها محسوب می‌شوند. شکل کپسید باکتریوفاژ و ناحیه سر چند وجهی بوده و دم آن ماریچی است. ناحیه سر محتوی اسید نوکلئیک است. سنجش اندازه ویروسها و ویروسها اندازه بسیار کوچکی داشته و قادرند از فیلترهایی که مانع عبور باکتریها می‌شوند، به راحتی عبور کنند، اما از آنجا که برخی باکتریها از بزرگترین ویروسها، کوچکتر هستند. بنابراین قابلیت عبور از فیلترهای مزبور را نمی‌توان به عنوان ویژگی منحصر به فرد ویروسها، محسوب نمود. روشهای تعیین اندازه ویروسها مشاهده مستقیم در میکروسکوپ الکترونی در مقایسه با میکروسکوپ نوری، در میکروسکوپ الکترونی از الکترون به جای امواج نور و از عدسی‌های الکترومغناطیسی به جای عدسی‌های شیشه‌ای استفاده می‌شود. ویروسها را می‌توان در نمونه‌های بدست آمده از ترشحات بافتی در انسان و جانوران یا در برشهای بسیار نازک از بافت گیاهی مشاهده کرد. امروزه استفاده از میکروسکوپ الکترونی بیشترین کاربرد را در مقایسه با سایر روشها در اندازه گیری ویروسها دارا می‌باشد. فیلتراسیون از طریق غشایی با منافذی در اندازه‌های معین هر یک از این غشاها دارای منافذی با اندازه‌های مشخص هستند و در صورتی که نمونه‌های ویروسی از یک سری از آنها عبور داده شوند، اندازه تقریبی ویروس را می‌توان تعیین کرد. رسوب در اولترا سانتریفوژ ذرات موجود در مایع، بر اساس اندازه خود در ته ظرف رسوب می‌کنند. در اولترا سانتریفوژ، نیروهایی که ۱۰۰ هزار برابر

قویتر از نیروی جاذبه زمین هستند، باعث رسوب ذرات در ته لوله می‌شوند. با استفاده از رابطه بین اندازه و شکل ویروس با سرعت رسوب آن می‌توان اندازه ویروس را تعیین کرد.

اصطلاحات

ویریون: پیکره کامل فیزیکی ویروس (ژنوم ویروسی محصور شده در کپسید یا غشای لیپیدی) را ویریون می‌گویند.

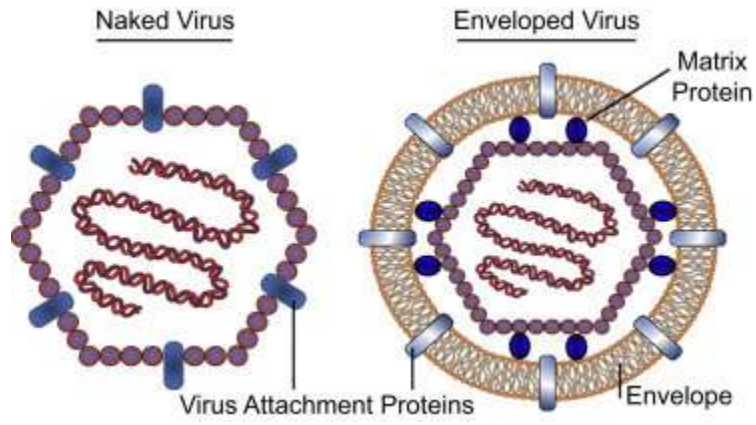
کپسید: پوسته‌ای از جنس پروتئین است که توسط ژنوم ویروس کد می‌شود و ژنوم ویروس را فرا می‌گیرد و مسئولیت محافظت از ژنوم را بعهده دارد. در شکل‌گیری کپسید ویروس، پروتئین‌های مجزا با پیوستن به هم، زیرواحدها (Subunits) را شکل می‌دهند و جمع زیرواحدها، واحدهای ساختمانی (Protomer) را ایجاد می‌کنند. از انسجام زیرواحدهای ساختمانی، کپسومرها ساخته می‌شوند و در نهایت کپسید شکل می‌گیرد.

کپسومر: واحدهای تشکیل‌دهنده کپسید می‌باشند که به‌عنوان واحدهای مرفولوژیک با میکروسکوپ الکترونی در سطح ذرات ویروسی با تقارن ۲۰ وجهی دیده می‌شوند و در دور ژنوم در ویروس‌های با تقارن مارپیچی مشاهده می‌شوند. در ساختمان کپسید واحدهای پروتئینی تشکیل‌دهنده مشاهده می‌شوند که واحدهای ساختمانی نامیده می‌شوند. از کنار هم قرار گرفتن چند واحد ساختمانی که با نظم خاصی در کنار هم قرار می‌گیرند، ساختمان منظم کپسید شکل می‌گیرد.

پیلومر (spike): در سطح پوشش ویروس‌ها زائده‌هایی از جنس گلیکوپروتئین وجود دارد که پیلومر نام داشته و واسطه بین اتصال ویروس و گیرنده ویروس در سطح سلول یا رسپتور می‌باشند. پیلومرها مهم‌ترین آنتی‌ژن‌های ویروسی می‌باشند. قندهایی که به گلیکوپروتئین‌های ویروس افزوده می‌شوند مربوط به سلول میزبان است و پروتئین آن را خود ویروس‌ها تولید می‌کنند.

پوشش غلاف (Envelope): ویروس‌های دارای پوشش غلاف، حاوی پوشش‌های لیپیدی می‌باشند که هنگام کامل شدن ویروس از غشاء سلولی به دست می‌آورند. این غشای خارجی با پروتئین‌هایی پوشیده شده که بوسیله ژنوم ویروسی و ژنوم میزبان کد می‌شوند. در حالی که لیپید غشایی و تمام کربوهیدرات‌های موجود در آن از سلول میزبان تهیه شده‌اند. این پوشش از ویریون در برابر آنزیم‌ها و ترکیبات شیمیایی محافظت می‌کند. پروتئین‌هایی که روی این پوشش ویروسی قرار دارند شامل گلیکوپروتئین‌ها هستند که به‌عنوان گیرنده‌های مولکولی عمل کرده و باعث می‌شوند که سلول‌های سالم، ویرون‌ها را به‌عنوان سلول بیگانه تلقی نکنند و همین امر موجب جذب آسان ویرون‌ها به درون سلول می‌شود.

نوکلئوکپسید: به مجموعه‌ی کپسید و نوکلئیک اسید ویروس، نوکلئوکپسید گفته می‌شود. ویروس‌هایی که تنها از نوکلئوکپسید تشکیل شده‌اند و پوشش غلاف لیپیدی در اطراف کپسید ندارند، ویروس برهنه (Naked virus) نیز نامیده می‌شود.




سمت راست ویروس غلاف دار و سمت چپ ویروس بدون غلاف


Families and Genera of Viruses Infecting Plants

DNA

dsDNA (RT)
Caulimoviridae




Caulimovirus
Petuvirus
Soymovirus
Cavemovirus





Badnavirus
Tungrovirus

ssDNA





Geminiviridae



Mastrevirus
Curtovirus
Topocuvirus


Begomovirus


Nanoviridae

RNA


dsRNA




Reoviridae
Fijivirus
Phytoreovirus
Oryzavirus


Partitiviridae
Alphacryptovirus
Betacryptovirus




ssRNA (-)




Rhabdoviridae
Cytorhabdovirus
Nucleorhabdovirus



Bunyaviridae
Tospovirus




Tenuivirus
Ophiovirus




Varicosavirus

ssRNA (RT)







Pseudoviridae
Pseudovirus
Sirevirus






Metaviridae
Metavirus

ssRNA (+)




Luteoviridae
Sobemovirus
Sequiviridae
Sadwavirus
Cheravirus
Tombusviridae
Tymoviridae




Cucumovirus
Bromovirus


Ilarvirus


Alfamovirus


Ourmiavirus




Tobamovirus




Tobravirus




Hordelivirus




Pecluvirus




Furovirus



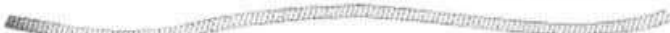
Pomovirus




Benyvirus



Flexiviridae



Potyviridae



Closteroviridae